

Э.М.ПРОНИН, канд. техн. наук, доцент, *angelp@spmi.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

E.M.PRONIN, PhD in eng. sc., associate professor, *angelp@spmi.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ГОРНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Рассматривается проблема формирования и управления горно-промышленными комплексами, представленными как группа разноотраслевых производств, позволяющих полнее использовать природные ресурсы. Излагается расчетно-методическая основа планирования образования комплекса. Приводятся принципы методики расчета производственных мощностей предприятий, входящих в комплекс.

Ключевые слова: Промышленные комплексы, технология, организация, материальный баланс, исследования, операторы, методика расчета.

OPTIMIZATION OF WORK OF MINING COMPLEXES ON THE BASIS OF CALCULATION OF MATERIAL BALANCE OF TECHNOLOGICAL PROCESS

The problem of formation and management of the mining complexes presented as group of the different and branch productions, allowing more stoutly to use natural resources is considered. The settlement and methodical basis of planning of formation of a complex is stated. The principles of a method of calculation of capacities of the enterprises entering into a complex are given.

Key words: Industrial complexes, technology, organization, material balance, researches, operators, calculation procedure.

Ведущее место среди добывающих отраслей занимает горно-добывающая промышленность, которая состоит из многих самостоятельных отраслей. Предприятия этих отраслей при освоении минерально-сырьевых ресурсов имеют тенденцию к объединению в производственные комплексы, причем оптимизация их отраслевых пропорций является важнейшим условием повышения эффективности производства.

Совокупность производственных предприятий, входящих в единый производственно-технологический комплекс, можно рассматривать как жесткую единую технологическую систему, для которой характерны взаимосвязь, взаимодействие, взаимозависимость всех отдельно взятых технологических

процессов и производств, посредством которых полезное ископаемое превращается в готовую или конечную продукцию.

В общем случае технологическая система комплекса многофункциональна, ориентирована на производство широкой по номенклатуре продукции, и в нее могут входить противоположные по направлению процессы, в том числе процессы, приводящие к уменьшению общей эффективности технологической системы, рассматриваемой как единое целое. По этой причине оптимум технологической системы комплекса может не совпадать с оптимумом отдельных подсистем. Формализованное математическое описание технологической системы комплекса можно задать как результат взаимодействия отдельных эле-

ментарных модулей (операторов), в качестве которых могут выступать отдельные производственные участки, цеха или целые производственные предприятия: рудники, карьеры, фабрики, электростанции, заводы и т.п. Для каждого такого модуля характерно, что он изменяет величину материального потока, проходящего через представляемое им производство, или его качественное состояние, или одновременно и величину потока, и его качественное состояние.

К первой группе модулей (операторов) относятся операторы, меняющие величину материального потока, который через них проходит:

- оператор объединения потока – производства, в которых материальные потоки соединяются в один поток, например смешиваются в единый продукт несколько качественно различных продуктов (участки шихтовки сырья, сборочные участки машиностроительного и строительного производства и т.д.);

- оператор разделения потока – производства, в которых материальный поток разбивается на несколько самостоятельных потоков, качественно отличных друг от друга или имеющих различное целевое назначение (например, обогатительные фабрики, выделяющие из руды целевые концентраты и пустую породу для последующего их разноцелевого использования, остальные участки и установки, шламовые отстойники и другие производства, в которых происходит отделение жидкости от твердого продукта и пр.).

Операторы второй группы меняют качественное состояние материального потока за счет изменения следующих параметров:

- формы или объема материального потока (например, цеха дробления, конгломерации, компрессорные установки и др.);

- энергетического состояния потока (например, нагревающие или охлаждающие установки);

- внутренней структуры или химического состава вещества, образующего материальный поток (например, парогенераторные установки теплоэлектростанций, плавильные и термообработывающие участки и установки, аглофабрики и пр.).

Прочие операторы, в том числе средства внутрицехового транспорта и другие аппараты, системы и производства, работа которых практически не меняет количественных, энергетических и физико-химических характеристик продукции, но в то же время имеет определенное принципиальное значение для ее качественной оценки (например, участки фасовки и упаковки конечной продукции, ее складирования, контроля качества изделий и пр.), также входят во вторую группу.

В большинстве случаев операторы в комплексе представлены модулями смешанного типа, обладающими признаками многофункциональности, совмещающими в себе признаки операторов разного типа. Так, системы обезвоживания продуктов меняют консистенцию последних и разделяют поток на два или более самостоятельных потока, а химические превращения в гидрометаллургическом или химическом производстве сопровождаются изменением не только состава вещества, но и его агрегатного состояния, образованием паров и осадков, делением общего потока на самостоятельные потоки, нагреванием или охлаждением продуктов передела и пр.

В практике оптимизации производства использование таких многофункциональных операторов резко осложняет математическое программирование и может привести к ошибкам в сравнительной оценке степени влияния отдельных функций оператора на конечный результат. Поэтому с целью упрощения расчетов приходится или рассматривать практически единую систему комплекса как совокупность нескольких самостоятельных систем (система материальных потоков комплекса, перерабатываемых в нем сырьевых ресурсов, система водоснабжения и движения технологической воды в пределах предприятий комплекса, система энергоснабжения и расходования энергии, транспортная система), либо не учитывать многофункциональный характер операторов, рассматривая каждую функцию таких модулей как систему отдельных, последовательно действующих однофункциональных операторов. Так, многофункциональный оператор – химическое или металлургическое

производство – можно рассматривать в виде системы операторов, обладающих одной выраженной функцией: оператор химического превращения, оператор изменения энергетического состояния, оператор изменения агрегатного состояния вещества, оператор разделения потока и, наконец, оператор перемещения потока в пространстве (транспорт продуктов). Такое упрощение задачи вполне корректно при условии, что в дальнейшем рассмотрение всех функций технологической системы комплекса не будет проводиться на промежуточных стадиях между элементарными операторами, представляющими собой один многофункциональный оператор, т.е. все подсистемы таких операторов целиком, а не по частям входят в рассматриваемую систему технологического процесса.

Практически оба намеченных выше пути упрощения задачи оптимизации работы комплекса должны приводить к одному конечному результату, так как они по существу равнозначны: многофункциональная, сложная система комплекса описывается и в том, и в другом случае системой однофункциональных операторов, но в первом случае она рассматривается как совокупность подсистем, объединенных определенным признаком (функцией) операторов (например, система операторов изменения материального потока, система операторов изменения энергетического состояния того же потока и т.д.), а во втором - как совокупность подсистем однофункциональных операторов, представляющих собой один многофункциональный оператор.

Если с математической точки зрения оба подхода к решению задачи по существу равноценны, то применительно к практике оптимизации комплекса первый путь исследования самостоятельных укрупненных подсистем комплекса (материальных потоков, энергоснабжения и др.) более целесообразен, поскольку в условиях комплекса в организационном отношении системы транспорта, энерго- и водоснабжения выделяются в самостоятельные структурные единицы, обслуживающие все остальные объекты (операторы) структуры всего остального комплекса.

Это обстоятельство принципиально меняет значение таких систем для решения вопроса оптимизации работы комплекса по сравнению со случаями, когда дело идет об оптимизации производства отдельно взятого предприятия, в котором такие системы играют только подчиненную, вспомогательную роль. Рассматривая эти системы раздельно, можно прямо и непосредственно получить практические выводы о целесообразности их функционирования и организации. При другом подходе к решению задачи результат будет получен только на конечном этапе исследования и не всегда в явной, логичной форме.

Исходя из указанных соображений вопросы оптимизации работы комплекса рассматривались в следующей последовательности: материальные потоки в структуре комплекса, транспортные системы комплекса, системы снабжения производства комплекса энергией и технической водой. Статья посвящена оптимизации работы комплекса по материальному балансу технологического процесса.

Любая технологическая система функционирует благодаря функциональным зависимостям между отдельными операторами системы, выражающимся в изменении состояния технологического потока, проходящего через промышленные объекты, включенные в технологическую схему комплекса. Наиболее частыми в практике являются последовательные, параллельные, перекрестные и разветвленные типы связей между объектами (операторами), характерные для поточного непрерывного производства, а также прерывного производства с неповторяющимися, последовательными операциями технологического цикла производства сложной по составу и структуре продукции, например сплавов, строительных конструкций и др. Разветвленные связи встречаются часто, так как они характерны для всех производств, выпускающих неоднотипную продукцию или сопровождающихся получением промышленных отходов.

Для любого оператора технологической системы комплекса (его промышленных объектов) справедливо условие, что количе-

ство продуктов, поступивших в объект i (оператор i), должно быть равно количеству выдаваемой объектом продукции. Это положение справедливо в той степени, в какой справедлив закон сохранения материи (вещества). При этом безразлично, каким типом связи осуществляется поступление в оператор и отвод от него продуктов:

$$\sum_{h=1}^h M_{i,h} = \sum_{h'=1}^{h'} M_{i,h'}, \quad (1)$$

где M – количество поступающей или отводимой от объекта продукции; индекс h означает порядковый номер связи на входе в объект, индекс h' на выходе из объекта.

Количество поступившего в производство сырья должно быть равно количеству всей полученной продукции и всех образовавшихся при этом отходах. Для определенности и упрощения последующих расчетов под количеством продуктов M будем понимать, если это не будет особо оговорено, их массу в пересчете на идеально сухой, безводный продукт.

Уравнением (1) могут быть описаны все без исключения операторы технологического комплекса. Следовательно, в систему полученных уравнений войдут все имеющие место связи операторов технологической схемы, т.е. все виды сырья, конечной и промежуточной продукции, выпускаемой или перерабатываемой на предприятиях комплекса. Такие уравнения называются уравнениями материального баланса технологического процесса. Решение такой системы уравнений позволяет определить конкретное количество любого из продуктов, производимых или перерабатываемых в комплексе.

Уравнение (1) описывает функции оператора i с точки зрения его способности переработать все сырье, которое в него поступает, но не характеризует способности оператора избирательно перерабатывать отдельные составные компоненты сложного по составу сырья, что часто является самой важной его характеристикой. Поэтому можно более подробно охарактеризовать оператор уравнениями материального баланса, составленными не по всему перерабатываемому материальному потоку, проходящему через опе-

ратор, а по отдельным компонентам этого потока. Например, можно составить материальный баланс не по величине всей горной массы, подвергнутой обогащению на обогатительной фабрике, а только по количеству присутствующего в руде целевого компонента – металла или, наоборот, по вредным или балластным примесям, находящимся в руде. Для такого случая уравнения материального баланса для оператора i примут вид

$$\sum_{h=1}^h \mu_{i,h} = \sum_{h'=1}^{h'} \mu_{i,h'}, \quad (2)$$

где μ – масса рассматриваемого компонента сырья.

Понятие компонента перерабатываемого продукта можно толковать расширенно, не обязательно только как содержание в сырье определенного минерала или химического соединения, но и как вообще присутствие в продукте составных элементов, частиц и т.д., обладающих определенным, отличным от других элементов признаком, например определенным признаком брака продукции, принадлежностью к определенному сорту и т.п. При таком толковании понятия компонент уравнения материального баланса технологического процесса приобретают ту универсальность, которая делает их применимыми для описания работы практически любых операторов (производственных объектов) независимо от конкретных особенностей технологии их производства. Если в какой-либо объект комплекса данный компонент вовсе не поступает и в нем не образуется, то все же можно считать, что он в нем присутствует, но только в нулевом количестве.

Практическое применение уравнений (1) и (2) на стадии расчетов, когда конкретные объемы производства еще не определены, затруднено абсолютным выражением переменных величин в абсолютной системе единиц. Более удобно поэтому выразить переменные в относительных величинах, взяв за основу количество какого-то одного, наиболее в данном случае важного, продукта в технологической схеме производства. Таким базовым продуктом, по отношению к количеству которого будет в дальнейшем определяться количество других продуктов,

удобнее всего брать или главный конечный продукт производства, или основное, главное исходное сырье. Принципиального различия между этими двумя способами выражения переменных нет, но для горно-промышленных комплексов с их широкой номенклатурой промежуточной и конечной продукции, среди которой иногда трудно выделить главную, где общий объем производства всегда, в конечном счете, зависит от количества добытого полезного ископаемого, удобнее считать базовым продуктом исходное сырье и определять количество получаемых при дальнейшей переработке продуктов в относительных единицах – выходе продукта по отношению к количеству переработанного для этого сырья:

$$\gamma = \frac{100M_i}{M_{\text{баз}}}, \quad (3)$$

где M_i – масса полученного продукта i , $M_{\text{баз}}$ – масса базового продукта (сырья).

Умножив обе части равенства (1) на постоянную величину $100M_{\text{баз}}^{-1}$, от чего равенство не изменится, получим уравнение материального баланса для оператора (объекта) i в виде

$$\sum_{h=1}^h \gamma_{ih} = \sum_{h'=1}^{h'} \gamma_{ih'}. \quad (4)$$

Содержание данного компонента k в продукте i , т.е. процентная доля массы этого компонента в общей массе продукта, может быть выражена соотношением

$$\beta_{i,k} = \frac{100\mu_i}{M_i}, \quad (5)$$

откуда $\mu_i = \beta_{i,k} = M_i \cdot 10^{-2}$. Подставляя полученное выражение величины μ_i в (2) и умножая обе части равенства на 100, получим еще одно выражение для материального баланса объекта:

$$\sum_{h=1}^h \beta_{i,k} M_i = \sum_{h'=1}^{h'} \beta_{i,k} M_i. \quad (6)$$

Из-за выражения количества продукции в этой формуле в абсолютной системе единиц, не всегда удобно применять ее в практических расчетах. Поэтому величину M_i в

этом уравнении надо выразить через выход γ_i , используя для этой цели условие (3). Умножая обе части равенства (6) на постоянную величину $100M_{\text{баз}}^{-1}$ получим

$$\sum_{h=1}^h \beta_{i,k} \gamma_i = \sum_{h'=1}^{h'} \beta_{i,k} \gamma_i. \quad (7)$$

Можно иначе записать уравнение материального баланса оператора, используя для этой цели извлечения $\varepsilon_{i,k}$ определенного компонента сырья k в данный продукт i . По определению, извлечение ε есть доля компонента, находившегося в исходном сырье и перешедшая в рассматриваемый продукт:

$$\varepsilon_{i,k} = \frac{100\mu_{i,k}}{\mu_{k,\text{баз}}}, \quad (8)$$

где μ_{ik} – масса компонента в продукте i , $\mu_{k,\text{баз}}$ – масса компонента в базовом продукте (в сырье).

Выражая (8) $\mu_{i,k}$ через M_i и $\beta_{i,k}$, а $\mu_{k,\text{баз}}$ через $M_{k,\text{баз}}$ и $\beta_{k,\text{баз}}$ и принимая во внимание, что $\gamma = 100M_i / M_{\text{баз}}$ получим выражение зависимости величины извлечения компонента k от его содержания $\beta_{i,k}$ в продукте i , выхода γ_i этого продукта и содержания компонента k в сырье $\beta_{i,k}$:

$$\varepsilon_{i,k} = \frac{\beta_{i,k} \gamma_i}{\beta_{k,\text{баз}}}. \quad (9)$$

Если разделить обе части равенства (7) на постоянную величину $\beta_{k,\text{баз}}$ и учесть (9), можно получить уравнение материального баланса в новой форме:

$$\sum_{h=1}^h \varepsilon_{i,k} = \sum_{h'=1}^{h'} \varepsilon_{i,k}. \quad (10)$$

Сумма извлечения одного компонента во все продукты, вводимые в промышленный объект (в оператор i) равна сумме извлечений того же компонента во все продукты, выводимые из этого объекта (оператора). Дополнительное ограничивающее и очевидное условие материального баланса заключается в том, что всегда сумма содержаний всех компонентов в одном продукте

$$\sum_{k=1}^k \beta_{i,k} = 100 \% . \quad (11)$$

Все приведенные выше формы уравнения материального баланса могут быть применены для определения зависимых переменных технологического процесса и использованы для поиска оптимальных условий функционирования комплекса. Уравнения, описывающие материальный баланс комплекса, должны быть независимыми и совместимыми. Иначе говоря, решение системы уравнений не должно приводить к такому результату, когда отдельные показатели работы комплекса будут нереальными (например, производственные мощности предприятий с отрицательными значениями, содержание отдельных компонентов сырья в виде отрицательной величины или с положительным, но превышающим 100 % значением и т.д.). Кроме того, полученные расчетом показатели не должны быть взаимно исключающими друг друга, т.е. обязательно реально и одновременно осуществимыми. Так, количество всей произведенной продукции вместе с полученными при этом и нереализованными отходами не должно превышать суммарного количества всего израсходованного при этом сырья и т.д.

Подобные некорректные результаты расчета могут иметь место в случаях, когда в систему уравнений, описывающих работу комплекса, войдут уравнения зависимые, в неявной форме повторяющие одну и ту же функциональную связь: например, уравнения материального баланса в форме суммы производительностей объектов комплекса (1) и одновременно с ними уравнения баланса, где те же производительности объектов заданы в виде выхода γ_i продукции (4).

Кроме того, некорректные результаты расчета могут иметь место, когда число исходных для расчета конкретных численных показателей (плановых заданий) превысит определенное для каждой данной схемы и структуры комплекса число n_{Π} . В этом случае расчет системы уравнений приведет к получению расчетных показателей, не сопоставимых друг с другом, а на практике

комплекс не сможет одновременно выполнить все первоначально заданные ему производственные показатели.

Первую причину неправильного программирования (введение системы зависимых уравнений) можно устранить при внимательном отношении программистов к физической сущности уравнений, вводимых в математическую модель работы комплекса. Каждое уравнение такой системы должно рассматриваться не как отвлеченное, абстрактное математическое выражение, а как формализованное математическое описание реального физического процесса, явления или объекта. Чтобы избавиться от второго возможного источника ошибок примем, что число исходных расчетных данных n_{Π} должно быть всегда меньше или в крайнем случае равным, но никогда не большим некоторого определенного числа $n_{\Pi} \leq n_{\Pi \max}$, значение которого определяется описанным выше способом.

Рассмотрим технологическую схему, которая включает в себя m отдельных объектов и состоит из i грузопотоков, в том числе потоков, входящих и выходящих из комплекса и перемещающихся внутри его системы, а также потоков, представляющих собой все потери сырья в окружающую среду. Пусть перерабатываются различные виды сырья, в которых в том или ином виде присутствует k компонентов, оказывающих то или иное влияние на количество и качество производимой продукции, отходов и потерь продукции или сырья в окружающую среду. Не будет иметь значения, если в некоторых продуктах, вырабатываемых или перерабатываемых в комплексе, часть этих компонентов будет отсутствовать. Можно считать, что в этих конкретных продуктах и грузопотоках такие компоненты формально присутствуют в нулевом количестве.

Для любого грузопотока комплекса можно записать уравнение (11), характеризующее его качественный состав, т.е. условие, что сумма всех компонентов в составе данного продукта равна 100 %. Часть составляемых указанной суммы может быть равной нулю.

Общее число независимых уравнений вида (11) которое может быть использовано

в расчете очевидно равно общему числу грузопотоков его системы, т.е. числу i . Для каждого отдельно взятого объекта комплекса может быть составлено k уравнений материального баланса, показывающих распределение каждого из k компонентов сырья в грузопотоках, входящих в этот объект и выходящих из него:

$$\sum_{h=1}^h \beta_{i,k} M_i = \sum_{h'=1}^{h'} \beta_{i,k} M_i,$$

где h и h' – число грузопотоков, вводимых в объект и выводимых из объекта соответственно. Общее число уравнений этого типа должно быть равно числу компонентов сырья k , умноженному на общее число m объектов комплекса, т.е. km .

Таким образом, для расчета мы располагаем системой уравнений из $(i + km)$ независимых уравнений материального баланса, из которой непосредственным расчетом можно определить численные значения не более чем $(i + km)$ независимых показателей работы. С другой стороны, в комплексе i грузопотоков качественный состав каждого из них определяется перечислением k конкретных различных значений $\beta_{i,k}$, поэтому чтобы полностью описать качественные характеристики всех грузопотоков комплекса, надо заранее задать и дополнительно определить всего ik его качественных характеристик. Кроме того, для полной характеристики работы необходимо дополнительно оценить численные значения M_i для всех его I грузопотоков, т.е. узнать еще i показателей. Таким образом, для полного описания системы комплекса требуется установить значения $(i + ik)$ различных показателей.

Общее число показателей, описывающих работу комплекса,

$$n_o = i + ik,$$

из них расчетным путем можно определить численные значения n_p показателей, причем $n_p = i + km$.

Остальные показатели работы комплекса для однозначного описания должны быть предварительно заданы, т.е. заранее ему запланированы. Общее число таких планируемых показателей

$$n_{\pi} = n_o - n_p = (i + ik) - (i + km) = k(i - m). \quad (12)$$

При соблюдении условия (12) система комплекса полностью детерминирована, т.е. все численные показатели системы определены однозначно, а общее число планируемых, заранее задаваемых значений M_i и $\beta_{i,k}$ имеет максимальную величину: $n_{\pi \max} = k(i - m)$.

Для того чтобы системой комплекса можно было гибко управлять, в частности, улучшать отдельные ее качественные или количественные показатели, эта система должна иметь определенные степени свободы, что выражается в условии, что число планируемых показателей производства n_{π} фактически должно быть несколько меньше, чем $n_{\pi \max}$:

$$n_{\pi} < n_{\pi \max} = k(i - m). \quad (13)$$

Полученные выводы о предельном числе планируемых показателей остаются в силе и для случая, когда вместо уравнений типа (6) в расчете применяются другие формы уравнений материального баланса, например уравнения (7) или (10). По существу уравнения (7) и (10) представляют собой те же уравнения типа (6). Так, в уравнении (7) в отличие от (6) величина M_i выражена не в абсолютных, а в относительных единицах γ_i , и для того, чтобы из (6) получить (7) достаточно правую и левую части уравнения (6) умножить на одну и ту же постоянную величину $100M_{\text{баз}}^{-1}$, от чего смысл уравнения не изменится. Выражая затем $100M_i/M_{\text{баз}}$ через γ_i непосредственно, получим уравнение (7). Аналогично, уравнения (7) и (10) тождественны друг другу, так как если разделить обе части уравнения (7) на постоянную величину $\beta_{k,\text{баз}}$, принять во внимание определение величины $\varepsilon_{i,k}$ по (9), то соответственно из (7) получается (10).

По этой причине подсистемы уравнений материального баланса (7) и (10) не могут дополнять собой систему независимых уравнений (6), описывающих работу комплекса, хотя могут их заменять при практических расчетах.

Точно также нельзя дополнять систему уравнений баланса комплекса уравнениями

вида (1) и (4), так как эти уравнения зависят от уравнений материального баланса (6) и (8). Действительно, суммируя почленно уравнения типа (6) для отдельного объекта получим

$$\sum_{h=1}^h (M_i \sum_{k=1}^k \beta_{i,k}) = \sum_{h'=1}^{h'} M_i \sum_{k=1}^k \beta_{i,k} \quad (14)$$

и, учитывая, что для любого объекта и грузопотока комплекса $\sum_{k=1}^k \beta_{i,k} = 100\%$ из уравнения (14) непосредственно следует $\sum_{h=1}^h M_i = \sum_{h'=1}^{h'} M_i$, откуда простым преобразованием можно получить уравнение (4). Уравнения (1) и (4) не могут дополнять систему, в которую уже входят уравнения (6), но взятые сами по себе могут использоваться для расчета, а также заменять любые из двух указанных уравнений системы.

При решении вопроса о выборе общего числа планируемых для комплекса численных показателей и при составлении конкретного перечня таких показателей необходимо проявлять максимальную осторожность, чтобы избежать завышения такого перечня, из-за того что ряд численных показателей может оказаться произвольно уже заданным в неявной форме. Так, надо иметь в виду, что определение для комплекса конкретной сырьевой базы означает, что в системе комплекса уже задаются не только объемы перерабатываемого сырья, но дополнительно еще и k показателей, определяющих вещественный состав этого сырья.

Завышение числа учитываемых компонентов сырья, т.е. учет компонентов, фактически не влияющих на технологию производства, количество и качество продукции, вместо формального простого объединения их в условный компонент «прочие примеси», «пустая порода», «зольные примеси» и т.п., неоправданно завышает k и допустимую длину перечня планируемых показателей, что увеличивает вероятность ошибок при планировании работы комплекса, главным образом за счет введения в расчет несовместимых исходных показателей. С другой стороны, предельная детализация вещественного состава перерабатываемого в

комплексе сырья сама по себе не должна приводить к неверным выводам,

Занижение числа учитываемых компонентов сырья пропорционально уменьшает $n_{\text{п. max}}$ – предельное число задаваемых (планируемых) показателей производства. Результаты расчета материального баланса остаются при этом корректными, но менее детализированными, что в конечном счете также может иметь отрицательные последствия (например, потери какого-либо ценного компонента в отходах, снижение качества продукции из-за присутствия в ней неучтенной при проектировании вредной примеси и т.д.).

Предельное число исходных показателей производства для комплекса прямо пропорционально разности числа грузопотоков i и объектов m комплекса. Оба последних числа зависят от принятой степени детализации принципиальной технологической схемы комплекса, от того, рассматриваются ли в качестве отдельных его объектов самостоятельные производственные технологические циклы или производственные цеха, или отдельные участки производства.

Увеличение степени детализации технологической схемы комплекса увеличивает число $(i - m)$, а так как всегда число грузопотоков i больше числа объектов m комплекса, то в общем случае разность $(i - m)$ в формуле (13) при детализации схемы увеличивается, пропорционально расширяя возможный перечень исходных планируемых показателей производства $n_{\text{п. max}}$.

Усложнение или упрощение технологической схемы комплекса не влияет на корректность результатов расчета, хотя, естественно, безразлично для обеспечения эффективной работы комплекса. Занижение m ниже целесообразного уровня может сказаться на ухудшении качества продукции или на потерях ценного компонента сырья. Принятие m выше определенной величины не должно иметь прямых отрицательных последствий, но, безусловно, осложнит непосредственное управление комплексом за счет роста количества показателей.

Единого рецепта для определения рациональной степени детализации технологической схемы комплекса, видимо, не существу-

ет, но при разработке такой схемы надо руководствоваться следующими принципами.

1. По возможности не изображать на ней объекты, в которые входит и из которых выходит только один грузопоток (включая все учитываемые виды потерь материалов). В таких объектах не происходит изменения ни качественного, ни количественного состава перерабатываемой продукции, хотя качественное состояние в результате соответствующей обработки внутри такого объекта может существенно измениться. Целесообразно считать такой объект неотъемлемой частью другого, предшествующего ему объекта. Это позволит без ущерба для точности расчетов уменьшить на единицу числа i и m . Например, нет смысла выделять в самостоятельный объект технологической

схемы комплекса наладочные цеха и участки оформления готовых изделий. Удобнее считать, что такие операции производятся одновременно с изготовлением монтируемых блоков и деталей.

2. Можно считать за один объект комплекса два объекта с одной технологией производства, если один из них повторно перерабатывает уже обработанное в первом объекте сырье при прямом или циркулирующем грузопотоке между этими объектами.

3. Не следует без необходимости рассматривать производства с последовательными и резко отличающимися по условиям производства, характеру технологии и качеству продукции стадиями процесса в качестве одного объекта комплекса.